

**SUI FENOMENI
TERMICI PRODOTTI
DAL PASSAGGIO
DELLA ELETTRICITÀ
ATTRAVERSO I...**

Andrea Naccari, Manfredo Bellati



SUI FENOMENI TERMICI

PRODOTTI DAL PASSAGGIO DELLA ELETTRICITÀ ATTRAVERSO
I GAS RAREFATTI.

STUDIO SPERIMENTALE

DEI DOTTORI A. N A C C A R I

S. C. DEL R. ISTITUTO VENETO DI SCIENZE, LETTERE ED ARTI

E M. B E L L A T I.

I fenomeni termici, che accompagnano il passaggio della elettricità attraverso i tubi che contengono gas rarefatti, vennero studiati, per quanto sappiamo, quasi esclusivamente dal Wiedemann (1). Una parte delle nostre esperienze venne eseguita prima che ci fosse noto il lavoro di quel valentissimo fisico. Se ciò non fosse stato, noi avremmo probabilmente rinunciato a questo studio sperimentale. Considerando dipoi la importanza dell'argomento, osservando che alcune questioni rimanevano ancora insolute, e che il nostro metodo differiva da quello del Wiedemann, tanto per l'elettromotore adoperato, quanto per il modo seguito nel determinare le quantità di calore, abbiamo pensato di proseguire il lavoro, e di pubblicare anche quelle esperienze le quali valgono solo a confermare per altra via qualche fatto già osservato dal Wiedemann.

(1) Wiedemann. *Pogg. Ann.* CLVIII, 35, 252 (1876).

I.

Fenomeni termici che avvengono nella parte di mezzo del tubo.

1. *Strumenti adoperati.* I tubi di Geissler, di cui ci servimmo, avevano la forma più comune e più semplice. Erano essi costituiti da un tratto sottile a pareti piuttosto grosse, conterminato da una parte e dall'altra da due tratti eguali fra loro, di diametro molto maggiore e di pareti più sottili, nelle cui estremità arrotondate penetravano gli elettrodi di platino.

Per produrre le scariche elettriche che doveano attraversare i tubi, dopo pochi tentativi fatti con un piccolo rocchetto di Ruhmkorff, abbiamo sempre adoperato il grande rocchetto costruito dal Ruhmkorff stesso e posseduto dal Gabinetto di fisica di questa Università. Il filo indotto ha in questo rocchetto la lunghezza di 100,000 metri, e con una pila di 8 grandi coppie Bunsen, se ne può ottenere una scintilla lunga 41 centim. nell'aria. Nelle nostre esperienze abbiamo fatto uso di due o tre coppie soltanto, affine di ottenere le correnti indotte, di cui volevamo studiare gli effetti termici. Al rocchetto era applicato il suo interruttore costruito secondo il sistema del Foucault.

Nelle nostre prime indagini ci proponemmo di esaminare come variasse la quantità di calore sviluppata nella parte di mezzo d'un tubo al variare della quantità di elettricità che attraversava il tubo stesso. All'uso di un galvanometro per misurare la quantità di elettricità in tali condizioni, può forse venir fatta qualche obbiezione. Tuttavia deliberammo di servircene, essendo esso l'unico strumento, di cui potevamo disporre, per avvicinarci almeno al nostro scopo, se non per raggiungerlo con precisione. Fum-

mo anche a ciò confortati da alcune considerazioni e da qualche risultato sperimentale che verremo qui sotto esponendo.

Si ammette che quando nell'atto d'una scarica del rocchetto una certa quantità d'elettricità va dai due capi del rocchetto ai due elettrodi del tubo, una parte di questa non passi attraverso il tubo, ma torni indietro per ricomporsi con quella di specie opposta nell'interno del rocchetto. Però, quando il galvanometro è attraversato da una serie di scariche successive frequenti, la quantità di elettricità che passa a brevissimo intervallo di tempo in due sensi opposti attraverso il galvanometro, non dovrebbe avere alcuna influenza sulla deviazione, la quale dovrebbe dipendere soltanto dalla elettricità, la quale passa e si ricompone attraverso il tubo. Alcune esperienze fatte per il caso di correnti di chiusura, che non passano attraverso i tubi, confermarono questa conclusione.

Del resto, la semplicità e la costanza dei risultati delle esperienze eseguite ci pajono tali da non dover essere trascurate, anche ammesso che la deviazione del galvanometro, per la ragione accennata o per altre, non rappresenti esattamente la quantità di elettricità che nella unità di tempo passa attraverso il tubo.

Prima di adottare definitivamente l'uso del galvanometro, abbiamo voluto accertarci, che attraverso il circuito contenente il tubo di Geissler passava la sola corrente diretta o di apertura.

Prendemmo come corrente induttrice quella di due grandi coppie Bunsen, e disponemmo le cose in modo da poter facilmente osservare qual fosse l'impulso prodotto sull'ago del galvanometro, quando il circuito induttore si chiudeva o si apriva. In quegli istanti l'ago potea venir deviato non solamente quando il galvanometro era inserito nel circuito indotto, per effetto della corrente istantanea

che percorreva il filo del galvanometro stesso, ma anche quando il galvanometro era escluso dal circuito, per la semplice azione direttrice del rocchetto. Nella tabella seguente c indica la deviazione di primo impulso osservata quando veniva chiuso il circuito induttore e il galvanometro era inserito, oltre al tubo di Geissler, nel circuito indotto; c' indica la deviazione osservata quando si chiudeva il circuito induttore e il galvanometro era escluso dal circuito indotto.

Con a sono indicate invece le deviazioni di primo impulso prodotte dall'apertura del circuito induttore, quando il galvanometro stava nel circuito indotto, e con a' le deviazioni osservate quando il galvanometro era escluso dal circuito stesso.

Tabella I.

c	c'	a	a'
7,4	7,1	25,9	—4,2
7,1	7,5	20,7	—4,4
7,2	7,2	21,5	—5,2

Questi numeri mostrano che, quando vien chiuso il circuito, la deviazione del galvanometro è la stessa sia che il galvanometro trovisi inserito nel circuito indotto o sia escluso da esso. In fatti, nel primo caso la media deviazione è 7,23, nel secondo 7,27. Non appare dunque che la corrente prodotta col chiudere il circuito induttore possa passare attraverso il tubo e attraverso il galvanometro. Invece le differenze fra le deviazioni a e a' sono notevoli; esse rappresentano l'effetto delle correnti d'induzione prodotte dall'apertura del circuito.

Abbiamo anche voluto determinare qual fosse la durata dell'intervallo fra due istanti successivi in cui l'interruttore di Foucault chiudeva la corrente induttrice. La sfera scorrevole sull'asta verticale congiunta alla leva oscillante era nel punto più basso. La distanza fra la faccia inferiore dell'ancora e la faccia superiore del nucleo della elettrocalamita dell'interruttore era 41 mill. L'interruttore era mantenuto in movimento dalla corrente di una coppia Bunsen caricata con liquidi che erano già stati adoperati più volte. Un contatore elettrico di Siemens ed Halske serviva a dare il numero m delle interruzioni che avvenivano in un secondo. Nella seguente tabella, t indica la durata totale in secondi di ciascuna esperienza.

Tabella II.

	t	m
1	60	13,83
2	50	13,86
3	120	13,91
4	100	13,82
5	100	13,83
6	200	13,85

Il numero medio delle interruzioni è quindi 13,85 per secondo.

La durata di una oscillazione semplice dell'ago del galvanometro fu trovata in due successive determinazioni rispettivamente eguale a $1^{\text{sec}},80$ e a $1^{\text{sec}},83$, in media dunque $1^{\text{sec}},81$.

Il rapporto quindi fra la durata delle oscillazioni del-

l'ago e l'intervallo fra l'una e l'altra interruzione, è presso a poco eguale a 25. Non si poteva pertanto asserire che questo rapporto fosse così grande da poter ammettere senz'altro, che la deviazione fosse proporzionale alla quantità di elettricità la quale attraversava il circuito nella unità di tempo. Per porre in chiaro la cosa abbiamo eseguito alcune esperienze, facendo sì che la corrente data da una coppia Bunsen, venisse misurata dal galvanometro prima quando era continua, poi quando veniva interrotta periodicamente dall'interruttore di Foucault. Abbiamo determinato il rapporto delle deviazioni ottenute in quelle condizioni. Benchè nelle varie esperienze successive la resistenza del circuito venisse notevolmente variata per avere deviazioni diverse, il detto rapporto fu sempre trovato costante.

A meglio rassicurarci dell'uso del galvanometro e dell'interruttore, valse la osservazione seguente.

In una serie di esperienze, che verrà in parte riferita fra poco, fu fatto successivamente uso dell'interruttore di Foucault e di un interruttore acustico costituito da un corista il quale faceva 64 oscillazioni al secondo. La diversità dell'interruttore non avendo portato sensibile differenza nel risultato delle esperienze, ci credemmo autorizzati ad adoperare l'interruttore di Foucault. Preferimmo questo all'acustico, perchè in quest'ultimo, essendo poco ampie le oscillazioni della punta che s'immerge nel mercurio, assai facilmente nel corso di una serie di esperienze vengono alterate le condizioni in cui il circuito vien chiuso od aperto.

2. *Esperienze con un tubo contenente cloro.* Nel circuito indotto del rocchetto di Ruhmkorff inserimmo il galvanometro a riflessione costruito dall'Edelmann di Monaco, del quale avevamo fatto uso nelle esperienze testè menzionate. Questo strumento venne collocato a circa 7 metri di distanza dal rocchetto di Ruhmkorff e in tale posizione

da sottrarre l'ago, per quanto era possibile, all'azione diretta del nucleo e della spirale del rocchetto. Infatti, anche quando la deviazione del galvanometro era circa 200 parti della scala, si trovò che appena una di queste parti era dovuta all'azione direttrice del rocchetto. Però nel calcolare le deviazioni si tenne sempre conto anche delle correzioni dovute a questa piccola causa di errore.

Le spirali del galvanometro vennero collocate a tal distanza dall'ago, che la sensibilità dello strumento avesse un valore opportuno. Si trovò che la corrente atta a dare la deviazione di una particella, era presso a poco eguale a 24.10^{-8}

unità elettromagnetiche assolute C. G. S. Nel corso delle esperienze si applicarono alle deviazioni osservate le correzioni che servono a rendere le deviazioni stesse proporzionali alle intensità delle correnti. Le dette correzioni erano nel nostro caso assai piccole.

La corrente indotta andava dal polo del rocchetto al tubo di Geissler, passava poi al galvanometro e da questo al secondo polo del rocchetto. Quest'ultimo venne posto in comunicazione col suolo. Si cercò che gli altri punti del circuito fossero perfettamente isolati.

Il tubo di Geissler conteneva cloro. La parte di mezzo di questo tubo era lunga 78 mill., grossa 5,5. La parte più larga, nella quale stava l'elettrodo, che fu poi sottoposto ad esperienza era lunga mill. 79, avea il diametro esterno di mill. 15,6. L'elettrodo si addentrava per mill. 28, e 14 di questi erano rivestiti con vetro. La lunghezza totale del tubo era 219 mill. La parte di mezzo del tubo venne circondata con un recipiente cilindrico di sottile lamina di rame. Esso avea un foro circolare sul fondo che permetteva il passaggio della parte più larga del tubo. Un turacciolo di sovero forato e tagliato a metà serviva per chiudere quel foro. Le fessure otturavansi con mastice di pece

e cera. Un involucro di latta sottile difendeva dalle influenze esterne quel recipiente destinato a far l'ufficio di calorimetro. Il tubo venne disposto verticalmente. I reofori, che lo congiungevano al resto del circuito, vennero saldati agli elettrodi del tubo stesso mediante lega di Wood. Le saldature si rivestirono poi con mastice di pece e cera. Nel calorimetro si versò acqua.

Ecco i risultati di alcune esperienze fatte col detto tubo e nelle condizioni indicate.

Tabella III.

n	J	q	$q : J$
10	31,9	0,0317	0,000993
13	52,4	0,0521	0,000995
12	69,2	0,0663	0,000959
11	95,8	0,0922	0,000962

I numeri segnati nella prima colonna son quelli con cui le esperienze vennero da noi contrassegnate nell'eseguirle. Nella tabella esse non sono schierate nell'ordine stesso, ma bensì secondo il valore crescente della deviazione del galvanometro per agevolare i confronti.

La deviazione dell'ago del galvanometro venne osservata durante il passaggio della corrente di 30 in 30 secondi. Di tutte le osservazioni venne presa la media aritmetica, e da questa venne sottratta la media delle letture della posizione dell'ago fatta prima e dopo del passaggio della corrente. Questa differenza, fatte le debite correzioni, venne inserita nella tabella e precisamente nella seconda colonna dov'è contrassegnata con J . I valori q rappresen-

tano quantità proporzionali alle quantità di calore sviluppate nei singoli casi in un minuto nel tratto di tubo abbracciato dal calorimetro. Le variazioni del termometro immerso nel calorimetro vennero osservate di minuto in minuto prima del passaggio della corrente, durante il passaggio e dopo, con tutte le regole e avvertenze necessarie ad ottenere buone determinazioni calorimetriche. La variazione totale debitamente corretta per le influenze esterne e divisa per il numero dei minuti, durante i quali era passata la elettricità attraverso il tubo, fu posta eguale a q . Essa è espressa in divisioni della scala arbitraria del termometro adoperato. Il valore di una di queste divisioni era 0,2083 in gradi centesimali.

Dalle esperienze riferite risulta, che il rapporto $q : J$ si può ritenere con discreta approssimazione costante.

La tabella IV dà i risultati di alcune esperienze, le quali vennero eseguite con lo stesso tubo contenente cloro. Il calorimetro era diverso dal precedente.

Tabella IV.

n	J	q	$q : J$
17	70,0	0,0268	0,000383
19	155,1	0,0587	0,000394
18	202,0	0,0795	0,000378

Registriamo qui sotto anche i risultati di due esperienze fatte in condizioni simili, ma con l'interruttore acustico.

Tabella V.

n	J	q	$q : J$
21	85,4	0,0342	0,000400
22	100,7	0,0411	0,000408

L'una e l'altra tabella mostrano la costanza del rapporto $q : J$. È chiaro che sono propriamente comparabili fra loro soltanto i numeri di una stessa tabella.

Ecco i risultati di altre due esperienze eseguite anche esse con l'interruttore acustico. Si noti, che le condizioni delle esperienze erano diverse dalle precedenti.

Tabella VI.

n	J	q	$q : J$
24	49,5	0,0118	0,000238
25	68,4	0,0157	0,000230

Ci parve che con queste esperienze fosse a sufficienza provato, che nella parte media del tubo contenente cloro, la quantità di calore sviluppato era proporzionale alla deviazione del galvanometro.

3. *Esperienze con tubo contenente anidride carbonica.*
In questa e nelle esperienze successive abbiamo fatto uso di mercurio anzichè di acqua come liquido calorimetrico, affine di ottenere maggiori variazioni termometriche e più

uniforme distribuzione della temperatura anche senza agitazione.

I calorimetri che vennero adoperati in tal caso, erano o di vetro o di lamina sottile di ferro rivestita con uno strato di mastice che impedisse l'azione del mercurio sulle saldature. Dopo ciascuna esperienza era opportuno ricondurre il calorimetro a una temperatura un po' più bassa di quella della stanza per attenuare l'influenza della radiazione verso l'esterno nelle determinazioni calorimetriche. A tal uopo s'immergeva per pochi istanti nel mercurio un tubo da saggi contenente acqua con nitrato ammonico appena sciolto.

Il tubo di Geissler, contenente anidride carbonica, avea la forma stessa dei due tubi contenenti cloro già adoperati. La parte di mezzo era lunga mill. 77, grossa 5. La lunghezza totale del tubo era mill. 207.

La tabella seguente contiene i risultati di tre esperienze eseguite con l'interruttore acustico.

Tabella VII.

n	J	q	$q : J$
26	48,7	0,0476	0,00098
27	74,8	0,0843	0,00113
28	90,6	0,0904	0,00100

Le esperienze che seguono furono invece eseguite con l'interruttore di Foucault.

Tabella VIII.

n	J	q	$q : J$
35	27,8	0,0253	0,00091
29	35,7	0,0372	0,00104
30	42,5	0,0426	0,00100
33	68,5	0,0708	0,00103
32	92,1	0,1016	0,00110
31	120,0	0,1228	0,00102
34	124,3	0,1352	0,00109

Queste esperienze e le precedenti mostrano, che anche per il tubo contenente anidride carbonica, la quantità di calore sviluppata dal passaggio della elettricità nella parte di mezzo può ritenersi con discreta approssimazione proporzionale alla deviazione del galvanometro.

4. *Esperienze con un tubo contenente idrogeno.* Questo tubo avea forma consimile a quella dei tubi adoperati finora. Era stato acquistato presso il Geissler 10 o 12 anni dopo di quelli, il che può dare argomento a ritenere che qualche accidentale eguaglianza di condizioni particolari non esistesse fra il nuovo tubo e gli altri. Il tratto di mezzo era lungo mill. 66, grosso 5,5. Il tratto estremo su cui s'ebbe di poi a sperimentare, era lungo mill. 79, e avea il diametro esterno di mill. 15,6. L'elettrodo vi si addentrava per 28 mill., ed era rivestito con vetro per un tratto lungo mill. 14. La lunghezza del tubo era mill. 219.

Le esperienze relative a questo tubo vennero eseguite molto tempo dopo quelle che furono descritte finora. Tuttavia le facciamo seguire immediatamente a queste, perchè

si riferiscono alla stessa questione. Il termometro in esse adoperato è quello a scala arbitraria che fu menzionato altre volte; l'unità assunta nell'esprimere il valore di q è la divisione del termometro stesso.

Tabella IX.

n	J	q	$q : J$
135	87,8	1,760	0,0200
137	156,3	3,335	0,0213
136	209,7	4,370	0,0208
138	43,0	1,0112	0,0235
143	47,7	1,0938	0,0229
142	96,6	2,1440	0,0222
140	131,0	2,8960	0,0221
141	154,1	3,332	0,0216
139	185,0	3,987	0,0216

Abbiamo divise queste esperienze in due gruppi, perchè ciascuno di questi spetta ad un giorno diverso. Le condizioni dell'interruttore erano molto probabilmente diverse nei due casi. Non sono quindi comparabili che le esperienze appartenenti ad un medesimo gruppo.

Le prime tre esperienze mostrano che il rapporto $q : J$ può ritenersi costante, benchè J varii notevolmente. Le altre esperienze accennerebbero ad una leggiera diminuzione di quel rapporto; ma se si pensa che questa diminuzione è appena in ragione di 100 a 93, mentre il valore di J varia in ragione di 100 a 430, si vede che essa si può stimar trascurabile, o può anche essere attribuita a qualche pic-

cola causa di errore. Anche in questo caso quindi possiamo concludere, che la quantità di calore sviluppata nella parte di mezzo del tubo è proporzionale alla deviazione del galvanometro.

5. *Conclusioni dedotte dalle precedenti esperienze.* Le esperienze descritte si estendono a un tubo di Geissler con cloro, ad uno con anidride carbonica e ad un terzo con idrogeno. Noi abbiamo sempre trovato

$$\frac{q}{J} = \text{costante} ,$$

il che vuol dire che la quantità di calore sviluppata per il passaggio della elettricità nella parte di mezzo del tubo è proporzionale alla deviazione del galvanometro. Naturalmente nella verificaione di questa legge conviene tener conto della qualità dei fenomeni studiati in queste esperienze, fenomeni che presentano spesso delle irregolarità difficili ad eliminarsi.

Questa semplice legge, già ammessa dal Wiedemann, si verifica dunque anche nelle condizioni delle nostre esperienze. Ad essa crediamo di aver trovato un riscontro, oltre che nel lavoro più volte citato del Wiedemann, anche in uno scritto recentissimo di Warren de la Rue e Miller (1). In esso è detto, che se l'intensità della corrente data dalla potentissima pila a cloruro di argento variava in ragione di 17 a 23, la differenza di potenziale dei due elettrodi restava assolutamente costante. Se ciò si ammette, il lavoro prodotto nella unità di tempo dal passaggio della elettricità attraverso il tubo, dovrà essere proporzionale alla quantità di elettricità. Se V_1 e V_2 sono quei due potenziali, l quel lavoro, J la intensità media della corrente, dovrà essere

$$l = J (V_1 - V_2) ,$$

(1) *Comptes Rendus*, 29 avril 1878.

e se $V_1 - V_2$ è costante, l sarà semplicemente proporzionale ad J , come risulterebbe dalle nostre esperienze.

Accenniamo soltanto in via di congettura a questa relazione fra le nostre esperienze e quelle fatte dai fisici inglesi, perchè non abbiamo potuto leggere ancora la Memoria originale di quei due fisici, della quale i *Comptes Rendus* hanno recato solamente un breve estratto.

II.

Fenomeni termici presso gli elettrodi.

6. *Esperienze con un tubo contenente cloro.* La quantità di calore raccolta dal calorimetro quando l'elettrodo da esso circondato era negativo, ci risultò maggiore che non nel caso opposto. Noi abbiamo cercato il rapporto che in certi casi esisteva fra le quantità di calore sviluppate ai due elettrodi. Abbiamo voluto esaminare inoltre come variasse la quantità di calore sviluppata agli elettrodi al variare della deviazione del galvanometro.

Riferiamo intanto alcune esperienze, le quali furono eseguite col tubo contenente cloro, procedendo così:

Il tubo venne anche in questo caso disposto verticalmente. L'elettrodo superiore venne congiunto a un filo di platino mediante un po' di lega di Wood e la saldatura venne coperta con mastice isolante. Il filo di platino a una conveniente distanza dall'elettrodo venne congiunto con saldatura comune ad un filo di rame che metteva ad un polo del rocchetto. L'altro elettrodo era congiunto mediante un filo al galvanometro, e questo al secondo polo del rocchetto che era poi in comunicazione col suolo. Intorno alla parte esterna e più alta del tubo venne disposto un cilindro di sottile lamina di vetro chiudendone il fondo con sovero e mastice. Un involuero cilindrico di lamina metallica ben

levigata difendeva dalle influenze esterne quel piccolo recipiente che faceva l'ufficio di calorimetro. In questo si versò del mercurio in tal misura che la superficie di livello non fosse superiore alla saldatura. La parte del tubo abbracciata dal calorimetro era lunga 30 mill.: essa cominciava alla distanza di un mill. dalla estremità superiore del tubo: il peso del mercurio era gr. 438.23. Del tubo abbiamo dato le dimensioni nel § 2. Essendo lungo 28 mill. l'elettrodo, ne segue che la sua punta era distante 3 mill. dalla sezione inferiore del tratto di tubo abbracciato dal calorimetro. In questo stava immerso il solito termometro a scala arbitraria.

Col mezzo del commutatore applicato all'interruttore si poteva fare in modo, che l'elettrodo superiore circondato dal calorimetro risultasse positivo o negativo.

Ecco alcuni numeri relativi al caso in cui l'elettrodo era positivo. J rappresenta la deviazione osservata nel galvanometro, q l'aumento di temperatura espresso in divisioni del termometro e riferito al minuto.

Tabella X.

n	J	q	$q : J$
45	25,9	0,1188	0,0046
48	99,0	0,3341	0,0034
46	136,6	0,5440	0,0040

I numeri che seguono spettano al caso in cui l'elettrodo circondato dal calorimetro era negativo, e si riferiscono ad esperienze fatte nelle condizioni medesime delle precedenti, anzi in parte alternate con esse.

Tabella XI.

n	J	q	$q : J$
50	35,8	1,196	0,0334
49	53,2	1,756	0,0330
47	88,3	3,130	0,0354

Le esperienze 45-50 mostrano, che lo sviluppo di calore all'elettrodo negativo è presso a poco otto volte maggiore di quello che avviene a parità di corrente presso l'elettrodo positivo. Questo rapporto dipende naturalmente dalla lunghezza del tratto di tubo abbracciato dal calorimetro e dalla particolare porzione del tubo, la quale veniva abbracciata.

Rispetto alla influenza del valore di J su quello di $q : J$, si vede che, nel caso dell'elettrodo positivo, i valori del rapporto non mostrano nè regolarità, nè concordanza. In fatto le quantità di calore raccolte dal calorimetro in quel caso erano tanto piccole che non si poteva misurarle con qualche esattezza.

I valori del rapporto $q : J$, nel caso in cui l'elettrodo era negativo, cioè quelli registrati nella tabella XI, sono abbastanza concordanti fra loro: si potrebbe sospettare ch'essi accennassero ad un leggero aumento del rapporto al crescere di J .

Riferiamo qui sotto i risultati di altre esperienze fatte col medesimo tubo allo scopo di esaminare la influenza che le variazioni del valore di J possono avere su quello di q .

Tabella XII.

n	J	q	$q : J$
62	43,0	0,080	0,00186
61	53,7	0,109	0,00203
60	83,5	0,250	0,00300
59	116,6	0,362	0,00310
63	127,3	0,374	0,00294
64	146,7	0,340	0,00232

Anche questi risultati non sono nè concordanti, nè regolari. Anche in questo caso la ragione di ciò sta nella estrema tenuità degli effetti termici da misurarsi. Nè si poteva aumentare di molto la intensità delle correnti indotte, perchè le fatte osservazioni davano argomento a temere che una corrente, la quale desse circa 200 parti di deviazione, potesse guastare i tubi.

La tabella che segue contiene dei risultati relativi all'elettrodo negativo, che non sono comparabili coi precedenti perchè le condizioni erano diverse.

Tabella XIII.

n	J	q	$q : J$
54	53,9	1,754	0,0325
57	67,2	2,278	0,0339
56	78,3	2,720	0,0347
51	86,6	2,883	0,0333
55	110,4	4,038	0,0366
52	111,0	4,030	0,0363
53	136,9	5,137	0,0375

Benchè vi sieno delle irregolarità nell'andamento dei valori di $q : J$, pur sembra che si possa trarre da essi la conclusione che quel rapporto cresce alquanto al crescere di J , cioè, che q cresce alquanto più rapidamente di quello che porterebbe la proporzionalità della quantità stessa alla intensità J .

Col tubo stesso vennero eseguite delle altre esperienze. La disposizione dell'apparecchio era però alquanto mutata. Il tubo venne anche in questo caso disposto verticalmente, ma invece di circondarlo con un calorimetro all'estremità superiore, si dispose al di sotto un vasetto di vetro a sottili pareti, vi si pose del mercurio e in questo s'immerse la estremità inferiore del tubo di Geissler. Il peso del mercurio era gr. 227,9.

L'elettrodo del tubo non era congiunto ad un reoforo mediante saldatura; ma un filo di platino, che era congiunto ad un polo del rocchetto, s'immergeva nel mercurio del calorimetro, e questo serviva a stabilire la congiunzione fra quel filo e l'elettrodo del tubo.

Il bulbo del solito termometro a scala arbitraria era immerso nel mercurio in prossimità al tubo.

L'elettrodo libero del tubo era congiunto col galvanometro, e questo col secondo polo del rocchetto, il quale era in comunicazione col suolo.

Tanto il calorimetro, quanto il tubo vennero verniciati con la vernice stessa che serve per i dischi della macchina di Holtz. Il calorimetro per maggiore precauzione venne disposto sopra due laminette di vetro verniciate e appoggiate sopra una lastra di vetro parimenti verniciata.

Ecco alcuni dei risultati ottenuti facendo passare la corrente induttrice in modo che il polo immerso nel calorimetro fosse il negativo.

Tabella XIV.

n	J	q	$q:J$
71	31,1	0,4929	0,0158
65	62,7	0,9900	0,0158
66	75,3	1,2075	0,0160
67	99,5	1,6720	0,0168
68	107,2	1,7850	0,0167
69	132,3	2,1750	0,0164
70	163,5	2,7533	0,0168

Di qui si deduce, che il rapporto $q:J$ sembra andare leggermente crescendo al crescere della intensità media della corrente.

In queste esperienze il tubo era immerso per 27 mill. nel mercurio. Volemmo determinare in queste condizioni qual fosse presso a poco il rapporto fra le quantità di calore sviluppate ai due elettrodi.

Ecco i risultati.

Tabella XV.

<i>n</i>	<i>J</i>	<i>q</i>	<i>q</i> : <i>J</i>
72	72,9	0,0545	0,000748
73	91,0	0,0629	0,000691
74	167,5	0,1383	0,000825
75	—118,1	2,0325	0,01721

La esperienza 75 si riferisce al caso in cui l'elettrodo immerso nel calorimetro era negativo: le altre tre al caso opposto. Dividendo il valore di *q*:*J* ottenuto per il polo negativo per il medio dei tre valori relativi all'altro polo, si ha 22,8. Questo sarebbe il rapporto fra le quantità di calore sviluppate a parità di corrente all'elettrodo negativo e al positivo. Esso è notevolmente maggiore di quello che abbiamo trovato dapprima, quando il calorimetro abbracciava un tratto di tubo che giungeva a 31 mill. dall'estremità anzichè a 27.

Abbiamo di poi alzato il tubo di Geissler di mill. 3,5; la porzione immersa del tubo era lunga allora mill. 49,5. Ecco i risultati ottenuti.

Tabella XVI.

<i>n</i>	<i>J</i>	<i>q</i>	<i>q</i> : <i>J</i>
76	75,8	1,283	0,0169
77	109,9	1,890	0,0172
78	125,1	2,254	0,0180
79	181,7	0,0877	0,000483

N.

4

Ammettendo che per un valore di J eguale a 481,7, il valore di $q:J$ spettante al polo negativo fosse 0,019, il rapporto fra i due effetti risulterebbe eguale a 39. Esso andrebbe dunque aumentando, come era da prevedersi, di mano in mano che il punto in cui si osserva lo sviluppo di calore si allontana dal punto di mezzo.

Anche in queste condizioni abbiamo voluto indagare qual fosse l'influenza del valore di J su quello della quantità di calore q . Nella serie che riferiamo qui sotto, alcune esperienze si son fatte con correnti pressochè eguali affine di poter conoscere il grado di precisione che il metodo permetteva.

Tabella XVII.

n	J	q	$q:J$
113	25,4	0,690	0,0272
109	28,3	0,816	0,0288
107	48,5	1,350	0,0278
105	58,6	1,572	0,0267
112	74,7	2,300	0,0308
106	96,4	2,858	0,0296
104	101,8	2,930	0,0288
108	106,5	3,230	0,0303
111	153,0	5,037	0,0329
112	159,5	5,207	0,0326

Le piccole irregolarità dei valori di $q:J$ devono essere attribuite ad errori di osservazione. È manifesto che quel valore va leggermente aumentando al crescere di J . Quell'aumento però è in ragione di 100 a 120 mentre J varia da 100 a 640.

Queste esperienze mostrano ancora, che gli errori di osservazione e gli effetti delle varie cause perturbatrici non sono assai grandi. Le esperienze 104 e 108 si possono ritenere come fatte in tali condizioni da dover dare risultati eguali quanto al valore di $q:J$. La differenza dei due risultati è uguale a circa 5 per 100. Più concordanti sono le esperienze 111 e 112.

7. *Esperienze dirette ad indagare la causa della diversità degli effetti termici ai due elettrodi.* Nello studio dei fenomeni termici che avvengono agli elettrodi, ci proponemmo di esaminare se la diversità degli effetti che si riscontrano ai due elettrodi dipenda per avventura da un fenomeno simile a quello che fu scoperto nel caso di due conduttori solidi dal Peltier. Per ciò abbiamo eseguito non poche esperienze in condizioni molto diverse le une dalle altre affine di esaminare se in qualche caso il passaggio della elettricità producesse un raffreddamento presso l'elettrodo positivo.

Alcune di queste esperienze non diedero assolutamente alcun segno di raffreddamento; e son quelle di cui abbiamo già dato i risultati. Altre, eseguite con corrente assai debole, avrebbero indicato un leggerissimo raffreddamento, ma tanto piccolo da lasciarci dubbiosi se esso dovesse essere attribuito al passaggio della corrente o ad esterne influenze. Altre esperienze, con corrente piuttosto forte, diedero nei primi istanti, dopo che la corrente indotta aveva cominciato ad attraversare il tubo, un indizio di raffreddamento, ma subito dopo la temperatura cominciò a salire e continuò di poi con la lentezza che veniva sempre osservata quando l'elettrodo era positivo. Così, ad esempio, in una esperienza il termometro s'era mantenuto costante per 5 minuti a 30,82 divisioni. Quando la corrente cominciò a passare, il termometro scese in un minuto a 30,70, ma nel minuto successivo salì a 30,76, indi salì continua-

mente di un decimo di parte all'incirca per minuto. Eguale fenomeno ci si presentò in un'altra esperienza.

Potrebbe darsi che un piccolo raffreddamento dovuto a un fenomeno simile a quello del Pellier, venisse annullato e nascosto dal calore, che per conduzione dal vetro del tubo può trasmettersi al mercurio del calorimetro. Le nostre esperienze, benchè abbastanza numerose, non ci permettono di asserire per ora alcun che di positivo su questo fatto.

8. *Esperienze dirette ad esaminare a qual distanza si estenda l'influenza dell'elettrodo.* A questo scopo abbiamo circondato con un calorimetro di vetro a sottili pareti la porzione del tratto più largo del tubo, la quale è più distante dall'elettrodo. Quella porzione così abbracciata dal calorimetro era lunga 35,5 mill. Poichè il tratto largo intero era lungo mill. 81 e 29 mill. era la lunghezza dell'elettrodo, la distanza della punta di questo dal punto più vicino del tratto di tubo abbracciato dal calorimetro, era mill. 16,5. Ecco i risultati.

Tabella XVIII.

n	J	q	$q : J$
121	105,4	2,42	0,0230
119	130,1	2,76	0,0197
122	161,5	0,699	0,0043
120	169,7	0,736	0,0043

Tutte e quattro queste esperienze vennero eseguite senza mutare la resistenza introdotta nel circuito della corrente induttrice. Nelle prime due l'elettrodo più prossimo

era il negativo: nelle altre due il positivo. Prendendo il medio fra i due valori del rapporto $q:J$ spettanti all'elettrodo negativo, e dividendo per quello spettante all'altro elettrodo, si ha il quoziente 4,9. La diversità di effetto prodotta dall'inversione della corrente, è dunque molto attenuata, ma sussiste tuttavia.

Abbiamo poi trasportato il calorimetro alquanto più in su, in modo che fosse abbracciata la parte del tratto sottile di mezzo che stava più vicina al tratto estremo esaminato da prima. Ecco i risultati.

Tabella XIX.

n	J	q	$q:J$
123	154,6	1,836	0,0118
125	165,5	1,982	0,0120
124	103,6	1,274	0,0123
126	142,3	1,907	0,0134

Le due esperienze 123 e 125 furono eseguite con la corrente induttrice diretta nel medesimo senso: per le altre due esperienze la corrente avea direzione opposta. Nel primo caso l'elettrodo più prossimo al calorimetro era il positivo. Benchè fra i risultati delle due ultime esperienze ci sia poca concordanza, pure dalle quattro esperienze apparisce, che quando l'elettrodo più prossimo era il negativo, nella parte estrema del tratto di mezzo si avea una produzione di calore un po' più grande che non nel caso opposto.

9. *Esperienze col tubo contenente idrogeno.* Riferiamo alcune esperienze che abbiamo fatte per studiare i fenome-

ni termici che avvengono in vicinanza agli elettrodi del tubo contenente idrogeno. Questo tubo è quello stesso che fu precedentemente descritto. L'estremità del tubo fu immersa nel mercurio d' un piccolo calorimetro come s'era fatto nel caso del tubo con cloro. La superficie di livello del mercurio era di un mill. più alta della punta dell'elettrodo. Ecco alcuni risultati ottenuti quando l' elettrodo immerso nel mercurio era il negativo.

Tabella XX.

n	J	q	$q : J$
131	87,6	0,4281	0,00489
128	93,1	0,4212	0,00452
132	102,9	0,4722	0,00459
130	163,6	0,7500	0,00458

Queste esperienze non danno indizio di variazione del rapporto $q : J$ al variare di J .

Nelle stesse condizioni delle esperienze precedenti ne abbiamo eseguite altre due, dando alla corrente induttrice tal direzione che l'elettrodo immerso fosse il positivo. I valori ottenuti sono indicati qui sotto.

Tabella XXI.

n	J	q	$q : J$
133	102,8	0,1955	0,0019
127	194,8	0,315	0,0016

Confrontando questi risultati con quelli contenuti nella tabella precedente, si vede che nel caso dell'elettrodo negativo l'effetto era circa tre volte maggiore. Il tubo contenente idrogeno presentava quindi una diversità di effetti ai due elettrodi molto minore di quella presentata dal tubo con cloro.

10. *Riassunto dei risultati relativi ai fenomeni termici che avvengono presso agli elettrodi.* Nei due tubi, su cui abbiamo sperimentato l'effetto, termico maggiore a parità di corrente, si otteneva quando l'elettrodo circondato dal calorimetro era negativo. L'intensità dell'effetto termico all'elettrodo negativo parve proporzionale alla intensità media della corrente per il tubo contenente idrogeno. Nel tubo contenente cloro la quantità di calore sviluppato cresceva in ragione alquanto più rapida.

La diversità degli effetti termici ai due elettrodi va scemando di mano in mano che si abbraccia col calorimetro una parte del tratto estremo del tubo più lontana dall'elettrodo. Anche verso i capi della parte di mezzo del tubo quella diversità di effetti si fa leggermente avvertire.

La detta diversità è maggiore nel tubo contenente cloro anzichè in quello contenente idrogeno. Ma non possiamo con sì scarso numero di esperienze avventurarci ad attribuire alla natura del gas la differenza osservata.

III.

Influenza delle sezioni di due tratti del medesimo tubo.

11. *Esperienze con due tubi contenenti aria.* Per studiare la influenza della sezione ci siamo serviti di tubi ripiegati ad U. Le due braccia verticali aveano sezioni notevolmente diverse, ed erano abbracciate rispettivamente da un calorimetro di vetro a pareti sottili e a fondo di sovero,

il quale conteneva mercurio. I due tratti abbracciati dai calorimetri erano abbastanza lontani dagli elettrodi perchè non se ne avesse a temere l'influenza. A maggior precauzione, un tratto sottile di tubo separava la estremità che conteneva l'elettrodo dal tratto abbracciato dal calorimetro.

Ciascun calorimetro conteneva un termometro, il quale durante le esperienze veniva osservato di minuto in minuto mediante apposito cannocchiale. Un involucri di carta difendeva i calorimetri dalle influenze esterne.

I tubi contenevano aria, la cui tensione era di 2 mill. circa. La luce prodotta dalla elettricità si mostrava nettamente stratificata.

Le esperienze vennero condotte nel solito modo. Solo si ebbe l'avvertenza d'invertire frequentemente la direzione della corrente, perchè se questa influiva sulla distribuzione della quantità di calore nei due calorimetri, la cosa si facesse palese.

Nelle tabelle seguenti, n indica al solito il numero d'ordine delle esperienze, J la deviazione del galvanometro; le direzioni della corrente sono indicate coi segni $+$ e $-$. I valori q_1 e q_2 rappresentano le quantità assolute di calore raccolte nel primo e nel secondo calorimetro, espresse in piccole calorie, e riferite a un minuto e a un centimetro di lunghezza del tratto di tubo abbracciato dal calorimetro. Per calcolare le quantità q_1 e q_2 si tenne conto dell'equivalente in acqua del calorimetro, del tubo e del termometro, e la totale quantità di calore debitamente calcolata coi soliti metodi seguiti in calorimetria venne divisa per il tempo espresso in minuti e per la lunghezza del tratto di tubo abbracciato in ciascun calorimetro dal mercurio.

Queste determinazioni si fecero con la massima diligenza per cercare di ottenere una discreta approssimazione. I due termometri vennero accuratamente confrontati

e le indicazioni dell' uno ridotte alla stessa unità di quelle dell' altro.

Il tubo che venne adoperato per primo in queste esperienze, aveva la lunghezza totale di cent. 60.

Il calorimetro 1.^o, a cui spetta la quantità q_1 di calore, abbracciava un tratto di tubo che aveva la sezione interna di 36,3 mill. q. Il calorimetro 2.^o abbracciava invece un tratto che aveva la sezione di mill. q. 42,6. Il rapporto fra le due sezioni è quindi 2,89. Ecco i risultati.

Tabella XXII.

n	J	q_1	q_2	$q_2 : q_1$
152	<u>+47,9</u>	0,379	0,371	0,98
153	<u>-44,2</u>	0,349	0,353	<u>1,01</u>
154	<u>+47,9</u>	0,375	0,393	<u>1,05</u>
155	<u>-43,7</u>	0,307	0,344	<u>1,12</u>

Le esperienze spettanti alla tabella seguente furono fatte in condizioni simili, ma in un giorno diverso.

Tabella XXIII.

n	J	q_1	q_2	$q_2 : q_1$
156	<u>+54,2</u>	0,477	0,483	<u>1,01</u>
157	<u>-52,2</u>	0,396	0,384	0,97
158	<u>+68,7</u>	<u>0,566</u>	0,559	0,99
159	<u>-59,5</u>	0,513	0,520	<u>1,01</u>
160	+61,0	0,490	0,498	<u>1,02</u>

Nelle due serie che seguono si cercò di variare l'intensità della corrente dall'una all'altra esperienza.

Tabella XXIV.

n	J	q_1	q_2	$q_2 : q_1$
161	+ 31,3	0,288	0,289	1,00
162	— 23,2	0,179	0,152	0,85
163	+ 62,3	0,516	0,534	1,03
164	— 60,1	0,498	0,525	1,05
165	+112,3	0,939	1,000	1,06
166	—102,6	0,955	1,014	1,06
167	+131,3	1,024	1,096	1,07
168	—112,6	0,905	1,019	1,13

Tabella XXV.

n	J	q_1	q_2	$q_2 : q_1$
169	+ 43,8	0,378	0,404	1,07
170	— 25,1	0,1945	0,218	1,12
171	— 73,6	0,589	0,630	1,10
172	+ 94,9	0,791	0,874	1,07
173	— 74,5	0,593	0,663	1,12
174	+113,7	0,966	1,013	1,05
175	—103,2	0,869	0,935	1,08
176	+102,4	0,868	0,928	1,07
177	+ 49,7	0,426	0,489	1,15

Benchè nei risultati di queste esperienze vi sia qualche irregolarità, pure è chiaro che in media il rapporto $q_2 : q_1$ è superiore all'unità, ma se ne scosta assai poco. Nel tratto più sottile del tubo v'ha dunque uno sviluppo alquanto più grande di calore, ma poco diverso da quello che avviene nell'altro, benchè le sezioni stieno in ragione di 1 a 3.

Un risultato consimile abbiamo ottenuto da un'altra serie di esperienze fatte con un tubo pure conformato ad U, nel quale i due tratti abbracciati dai calorimetri avevano rispettivamente le sezioni di mill. q. 446,9 e 4,5. La quantità di calore q_2 spetta al calorimetro che circondava il tratto sottile, l'altra q_1 all'altro calorimetro.

Tabella XXVI.

n	J	q_1	q_2	$q_2 : q_1$
178	63,4	0,541	0,653	1,21
179	—65,4	0,582	0,684	1,18
180	72,3	0,637	0,773	1,21
181	—62,9	0,555	0,652	1,17
182	64,5	0,587	0,758	1,29
183	—52,3	0,522	0,582	1,11

In questo caso il rapporto fra la sezione del tratto sottile e quella del tratto largo, era più piccolo che non nel caso precedente, era cioè 1 a 26 circa, e corrispondentemente il rapporto $q_2 : q_1$ appare più grande. Sembra adunque che esista una influenza, benchè molto piccola, della sezione dei varii tratti del tubo. Occorrono però delle al-

tre esperienze a determinare, se è possibile, secondo qual legge essa si manifesti.

Questo studio sperimentale venne eseguito nell'Istituto di fisica di questa R. Università, di che dobbiamo render grazie vivissime alla cortesia del prof. Francesco Rossetti.

Padova, li 25 giugno 1878.

(Estr. dal Vol. IV, Ser. V degli Atti del R. Istituto veneto
di scienze, lettere ed arti.)

N. 99.



ACADEMIA OLIMPICA

DI

SCIENZE, LETTERE ED ARTI
IN VIGENZA

